ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 66, в. 2 **1948**

К ВЫБОРУ ТОЧЕК ОТБОРА ПАРА ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ В ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ

И.Н. БУТАКОВ

Для любого *n*-го смешивающего подогревателя можно написать тепловой баланс в случае отбора насыщенного пара в таком виде

$$x_n \cdot r_n = y_n\,(T_n - T_{n-1}), \qquad (1)$$

где, x_n – количество отбираемого пара в *кг*, r_n – скрытая теплота его парообразования *ккал/кг*, T_n и T_{n-1} – абсолютные температуры воды при выходе из подогревателя и при входе в него, y_n – количество проходящего через *n*-й подогреватель конденсата в *кг*. Можно допустить, что y_n мало меняется при переходе от одного подогревателя к другому, почему, принимая $y_n= 1$, имеем

$$x_n = \frac{T_n - T_{n-1}}{r_n} \qquad (2)$$

Работа, которую мог бы произвести по циклу Ранкина отъемный пар, определяется по формуле (3)

$$W_n = x_n\left[r_n(1 - T_2/T_n) + T_n - T_2 - T_2\ln T_n/T_2\right], \qquad (3)$$

где T_2 – абсолютная температура холодного источника. Формулу (3) можно представить в таком виде (3')

$$W_n = x_n \cdot r_n(1 - T_2/T_n)\left[1 + \frac{T_n - T_2 - T_2\cdot\ln T_n/T_2}{r_n(1 - T_2/T_n)}\right]. \qquad (3')$$

Второе слагаемое в прямых скобках представляет небольшую дробь, так что, если ее игнорировать, этим самым мы уменьшим величину W_n. Это, однако, не отразится заметно на результате, так как фактически расход пара x_n будет меньше, чем принято по формуле (2). Это оттого, что основной конденсат будет дополняться конденсатами обогревающего пара в порядке постепенности при переходе от одного подогревателя к другому, достигая полной единицы лишь после последнего подогревателя. Поэтому с достаточным приближением к действительности можно принять

$$W_n + x_n \cdot r_n(1 - T_2/T_n), \qquad (4)$$

или после подстановки сюда значения x_n из выражения (2)

$$W_n = \frac{(T_n - T_{n-1})(T_n - T_2)}{T_n} = T_n - T_{n-1} - T_2 + \frac{T_{n-1}\cdot T_2}{T_n}. \qquad (5)$$

Если число подогревателей будет *K*, то общая работа, которую мог бы произвести отъемный пар всех *K* подогревателей, будет ΣW_i, причем для подогревателя *K* низкого давления имеем

$$W_к = \frac{(T_к - T_2)\ (T_к - T_2)}{T_к} = T_к - T_2 - T_2 + \frac{T_2\cdot T_2}{T_к};$$

$$W_{к-1} = \frac{(T_{к-1} - T_к)\ (T_{к-1} - T_2)}{T_{к-1}} = T_{к-1} - T_к - T_2 + \frac{T_к\cdot T_2}{T_{к-1}};$$

. . . .

. . . .

$$W_{II} = \frac{(T_{II} - T_{III})\ (T_{II} - T_2)}{T_{II}} = T_{II} - T_{III} - T_2 + \frac{T_{III}\cdot T_2}{T_{II}};$$

$$W_1 = \frac{(T_1 - T_{II})\ (T_{II} - T_2)}{T_1} = T_I - T_{II} - T_2 + \frac{T_{II}\,.\,T_2}{T_1}.$$

Таким образом,

$$\Sigma\, W_i = T_1 - (K+1)\ T_2 + \frac{T_2\cdot T_2}{T_к} + \frac{T_к\cdot T_2}{T_{к-1}} \ldots + \frac{T_{III}\cdot T_2}{T_{II}} + \frac{T_{II}\cdot T_2}{T_1} \qquad (6)$$

Температура T_1 – максимальная температура регенеративного подогрева питательной воды обычно оказывается величиной, заданной на основе технико-экономических соображений, поэтому изменяющимися величинами в выражении (6) являются последние члены. Для нас важно, чтобы величина ΣW_i была минимальной, т. е. чтобы потеря работы, обусловленная отсутствием использования тепловых перепадов от давлений в точках отъемов пара до давления в конденсаторе, оказалась наименьшей. Это же будет иметь место, когда сумма последних членов выражения (6) будет минимальной. Заметим, что произведение этих членов является величиной постоянной, равной $T_2^{k+1}/T_1 = \text{const}$. Если мы имеем произведение из переменных величин x, y и z в виде некоторой постоянной величины $x \cdot y \cdot z = C$ и требуется найти максимум или минимум их суммы $\Sigma = x+y+z$, то берут частные производные по каждому переменному с приравниванием их нулю, а потом определяют с использованием произведения C значения x, y и z. Оказывается, что тогда $x = y = z = \sqrt[3]{C}$ или в применении к разбираемому частному случаю

$$\frac{T_2 \cdot T_{II}}{T_1} = \frac{T_2 \cdot T_{III}}{T_{II}} \ldots = \frac{T_K \cdot T_2}{T_{K-I}} = \frac{T_2 \cdot T_2}{T_K} = \sqrt[K]{\frac{T_2^{K+I}}{T_1}},$$

или

$$T_{II}/T_1 = T_{III}/T_{II} \ \ldots = T/T_{K-I} = T_2/T_K = \sqrt[K]{T_2/T_1}. \qquad (7)$$

Таким образом, для получения минимума работы ΣW_i с K подогревателями надо распределять абсолютные температуры отъемного пара T_{II}, T_{III}....T_{K-1}, T_K с таким расчетом, чтобы они образовывали геометрическую прогрессию со знаменателем прогрессии $\sqrt[k]{T_2/T_1}$.

В случае применения поверхностных подогревателей при каскадном способе ведения линии конденсата обогревающего пара отборов расход последнего x_n, вследствие поступления конденсата с более высокой температурой из вышестоящего подогревателя, уменьшается. То же мы имеем и при наличии мелких перекачивающих конденсатных насосов и в других случаях ведения линий конденсата обогревающего пара. Поэтому и при поверхностных подогревателях остаются в силе те принципиальные положения, которые выше были формулированы для смешивающих подогревателей (формулы 4, 5 и 6). Разница будет только в том, что приповерхностных подогревателях имеет место разность ΔT температур между обогревающим паром и уходящей из подогревателя питательной водой (5° – 10°C). Поэтому формулы (4–7) для случая поверхностных подогревателей перепишутся в таком виде:

$$W_n = x_n \cdot r_n \left(1 - \frac{T_2}{T_n + \Delta T}\right) \ldots \qquad (4')$$

$$W_n = \frac{T_n - T_{n-I}}{r_n} \cdot r_n \left(1 - \frac{T_2}{T_n + \Delta T}\right) = \frac{(T_n - T_{n-I})\,[(T_n + \Delta T) - T_2]}{T_n + \Delta T}. \qquad (5')$$

Суммарная же работа будет иметь вид

$$\Sigma W_i = T_1 - (k+1)\,T_2 + \frac{T_2(T_{II} + \Delta T)}{T_1 + \Delta T} + \frac{T_2(T_{III} + \Delta T)}{T_{II} + \Delta T} + \ldots$$
$$+ \frac{T_2\,(T_K + \Delta T)}{T_{K-I} + \Delta T} + \frac{T_2\,(T_2 + \Delta T)}{T_K + \Delta T} \ldots \qquad (6')$$

Произведение из последних членов выражения (6')

$$\frac{T_2^{K}\,(T_2 + \Delta T)}{T_1 + \Delta T} = const,$$

поэтому

$$\frac{T_{II} + \Delta T}{T_1 + \Delta T} = \frac{T_{III} + \Delta T}{T_{II} + \Delta T} = \ldots\ldots = \frac{T_K + \Delta T}{T_{K-I} + \Delta T} = \frac{T_2 + \Delta T}{T_K + \Delta T} = \sqrt[K]{\frac{T_2 + \Delta T}{T_1 + \Delta T}}. \qquad (7')$$

Подогреватели, обогреваемые отъемным паром повышенного давления, могут получать пар в перегретом состоянии особенно в случае применения пара высоких начальных параметров. Тогда в формуле (3') в прямых скобках появится еще одно третье слагаемое, отвечающее фазе перегрева диаграммы Ранкина. Это слагаемое будет малой дробью, позволяющей думать о возможности ее игнорирования, тем более, что в данном случае фактический расход пара x_n в подогревателях, питаемых перегретым паром, будет меньшим вследствие более высокого теплосодержания обогревающего пара. Принимая же x_n по формуле (2), мы тем самым увеличиваем x_n и, следовательно, этим компенсируем уменьшение W_n из-за игнорирования перегрева пара в этих подогревателях. Таким образом, наличие перегретого пара в некоторых подогревателях не может сказываться на результатах выбора точек отбора пара, которые и в этих случаях будут подчиняться закону геометрической прогрессии абсолютных температур.

БУТАКОВ ИННОКЕНТИЙ НИКОЛАЕВИЧ

(1881–1970)



Родился в Забайкалье (Александровский завод), в 1900 году поступил в только что открывшийся Томский технологический институт (ныне Томский политехнический университет) и в 1906 в составе первого выпуска окончил его. Инженерная производственная деятельность проходила на Сибирской железной дороге, откуда с должности начальника службы тяги в 1921 году был избран по конкурсу профессором ТТИ. С 1923 года возглавил открывшуюся теплотехническую специальность, а впоследствии кафедру теплосиловых установок, которой заведовал до 1967 года. В разные годы занимал должности проректора по учебной работе, зам. директора по учебно-научной работе. В 1935 году И.Н. Бутакову присуждена ученая степень доктора технических наук, в 1944 году присвоено звание "Заслуженный деятель науки и техники РСФСР". При создании Сибирского филиала АН СССР был назначен и до 1950 года по совместительству работал в должности директора Транспортно-энергетического института СО АН СССР.

И.Н. Бутаковым опубликовано около 200 работ, в том числе несколько монографических изданий, по различным вопросам теплоэнергетики, экономики, педагогики высшей школы. Он подготовил 40 кандидатов наук, 6 докторов наук. Плодотворная инженерно-техническая и научно-педагогическая деятельность снискали И.Н. Бутакову признание основателя сибирской теплотехнической школы.

Результаты его работы в ТПУ и Сибири были отмечены двумя орденами Ленина, тремя орденами Трудового Красного Знамени, званиями "Почетный железнодорожник", "Отличник энергетики", "Отличник угольной промышленности".